

논문 2008-08-07

무선 센서네트워크 기반 차량속도 측정 시스템

(Vehicle Speed Measurement System
based on Wireless Sensor Network)

유성은, 김태홍, 박태수, 김대영, 신창섭, 성경복

(Seong-eun Yoo, Taehong Kim, Taesoo Park, Daeyoung Kim, Changsub Shin, Kyungbok Sung)

Abstract : The architecture of WSN based Vehicle Speed Measurement System is presented in this paper from Telematics Sensor Network(TSN) to Management System. To verify the feasibility of the system, we implemented the vehicle speed measurement system and evaluated the accuracy of velocity measured by the system in our testbed, an old highway located near Kyungbu highway. The system performed over 95% of accuracy at 80kmph from the measurement. In addition, the battery life time of the sensor node was evaluated by simulation analysis with real measured current consumption profiles. Assuming the maximum average daily traffic in 2005, the battery life time is expected to be over 1.6 year from the simulation result.

Keywords : WSN, Wireless Sensor Network, USN, Ubiquitous Sensor Network, Vehicle Speed Measurement, Vehicle Detection System, Telematics

1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅 패러다임이 소개된 이래로 유비쿼터스 컴퓨팅을 가능케 하는 핵심기술로 무선 센서네트워크 기술이 활발히 연구되고 있다. 무선 센서네트워크 기술은 모든 사물에 내장되는 저전력 컴퓨팅 기술 및 저전력 무선 통신 기술을 포함한다. 최근 무선 센서네트워크 기술은 저전력 송수신기 기술 및 SoC(System On a Chip) 기술의 발전과 더불어 활발히 연구 및 개발되고 있으며 다양한 분야에서 여러 가지 응용들에 적용되고 있다. 무선 센서네트워크 기술의 응용분야는 u-fam[1], u-healthcare, u-military, u-telematics 등이 있으며, 그 중 u-telematics 응용서비스는 센서 네트워크를 이용하여 운전자에게 도로노면 상태, 차량 통행속도 등의 도로교통상황정보를 운전자에게 제공

하는 분야를 통칭한다. 특히 도로의 한 지점을 통과하는 차량들의 속도를 측정하는 기술은 어린이보호구역 속도안내 시스템, 지능형교통신호제어시스템 등과 같이 다양한 u-telematics 응용분야에 활용된다.

기존에는 차량의 통행속도를 측정하기 위해서 유선 기반의 루프 검지기를 사용하고 있으나 이를 설치하기 위해서는 도로의 상당 부분을 제거해야 하기 때문에 설치 시간 및 비용이 많이 소요되며 유선 기반이기에 도로파손 등의 이유로 인해 관리 비용이 많이 소요된다. 하지만 무선 소형 센서를 활용한 무선 센서네트워크 기반의 차량속도 측정 시스템(VSM, Vehicle Speed Measurement System)은 그 구성요소들의 크기가 작고 무선 기반이어서 설치 및 관리에 소요되는 시간 및 비용이 매우 적다는 장점을 갖는다. 그러나 이를 구현하기 위한 관련 기술에 대한 연구 개발이 부족한 실정이다. 무선 센서네트워크 기반의 차량속도 측정 시스템을 구현하기 위해서는 하드웨어 측면에서 소형 센서 기술, 저전력 송수신기 기술, 저전력 MCU 기술 등의 반도체 기술이 필요하며 임베디드 소프트웨어 측면에서는 센싱 정보 보정 기술 및 차량 검지 알고리즘, 저전력 실시간 통신 프로토콜 기술, 저전력 시스템 관리 기술 등이 필요하다.

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 3. 14. 채택확정 : 2008. 3. 31.

유성은, 김태홍, 박태수, 김대영 : 한국정보통신대학교

신창섭, 성경복 : 전자통신연구원

* 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (ROA-2007-000-10038-0).

관련 연구로는 몇몇 반도체 회사들이 차량을 검지할 수 있는 반도체 센서들을 개발하여 현재 상용화하고 있으며, 반도체 기반 차량 검지 센서의 가능성을 수학적으로 모델링한 연구가 수행된 바 있다[2], Ara N. Knaian는 하나의 센서노드에 두 개의 마그네틱 센서를 장착하는 무선 차량속도 측정 시스템을 연구하였으며[3], UCB를 중심으로 한 PATH프로젝트에서는 무선 센서네트워크 기반의 차량검지 시스템을 위한 실시간 통신 프로토콜인 PADAMACS와 차량 검지 알고리즘 및 차종 분류 알고리즘을 제안하였다[4].

본 논문에서는 무선센서네트워크 기반 차량속도 측정 시스템의 전체 구조를 제시하고, 그 핵심 구성요소인 T-Sensor 노드 및 T-Sink 노드의 기능을 설명한다. 또한 실제 차량속도 측정 시스템을 구현하여 테스트 베드에서 평가하고, 실측된 전류 소모 프로파일을 이용해서 배터리 동작시간을 분석해봄으로써 무선센서네트워크 기반의 차량속도 측정 시스템의 가능성을 살펴본다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 다음 장에서는 무선 센서네트워크 기반의 VSM 시스템을 하드웨어와 소프트웨어 관점에서 설명하고 3장에서는 무선 센서네트워크 기반 VSM 시스템을 실제 구현하여 시험한 결과를 설명하며, 마지막으로 4장에서는 본 논문을 요약하고 앞으로 수행할 연구내용을 간략히 설명함으로써 결론을 내린다.

II. 시스템 구조

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 텔레매틱스 센서네트워크(Telematics Sensor Network, TSN)를 중심으로 무선센서네트워크 기반 차량속도 측정 시스템의 구조를 살펴본다.

1. 전체 시스템 개관

무선센서네트워크 기반 차량속도 측정 시스템은 크게 텔레매틱스 센서네트워크(TSN)와 관리 시스템으로 구성된다(그림 1). TSN은 차량을 검지하는 T-Sensor노드와 차량속도 정보를 수집해서 T-BaseStation으로 멀리까지 통신을 통해 전달하는 T-Sink 노드, T-Sink 노드의 명령에 따라 속도단속 카메라를 제어하는 T-Actuator 노드, 그리고 수집된 정보를 가공해서 기존 망(CDMA망이나 WiBro망 혹은 ADSL망 등)을 통해 관리서버로 전송하는 T-BaseStation으로 구성된다. 관리 서버는 TSN으로부터 수집된 정보(차량속도, 속도위반 유무 등)를 기존 망을 통해서 수신하여 저장하고 각

종 관리 정보(상태정보 보고 주기, 제한 속도 등)를 TSN으로 전송하여 TSN을 제어 및 관리하는 역할을 담당한다.

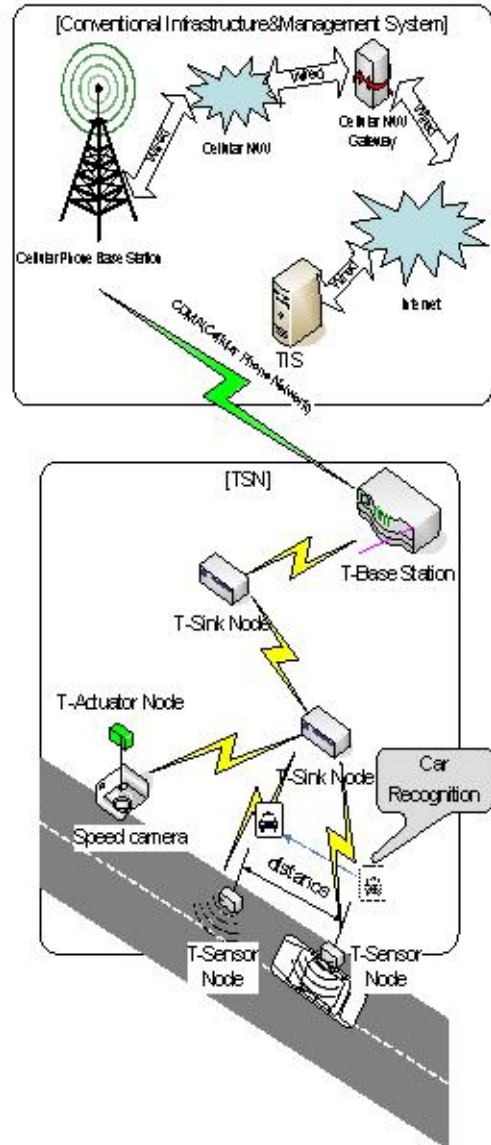


그림 1. WSN 기반 차량속도 측정 시스템 구조
Fig. 1. WSN-based VSM System Architecture

2. 텔레매틱스 센서네트워크(TSN)

TSN의 가장 하위 계층인 T-Sensor 노드는 자기장의 변화(그림 6)를 감지하여 차량의 진입여부를 판단하며 차량 검지 정보를 T-Sink 노드를 통해 T-BaseStation으로 보고한다. T-Sensor 노드

와 T-BaseStation의 거리에 따라서 1개 혹은 다수의 T-Sink 노드가 중계기능을 수행할 수 있다. T-Sink 노드는 T-Sensor 노드로부터 수신된 차량 검지정보를 가공하여 차량의 속도를 계산하며, 현재 통과차량이 제한속도를 위반할 경우 단속명령을 T-Actuator 노드로 전송하여 T-Actuator 노드가 스피드 카메라를 제어하도록 한다. 이와 같은 서비스를 가능하도록 하기 위해서 차량을 검지하는 T-Sensor 노드 단에서부터 T-Sink 노드, T-Actuator 노드, T-BaseStation에 이르기까지 TSN 전체 구성요소들의 소프트웨어 구조는 단순하고 간략하여 통신 및 처리 지연시간이 최소화되어야 한다.

T-Sensor 노드는 저전력 MCU, 저전력 RF 송수신기, 차량 검지 센서부 등으로 구성되는데, 차량 검지 센서부는 지자기 센서와 제인 및 캘리브레이션 블록으로 구성된다(그림 2). T-Sensor 노드가 설치될 지점 주변으로 맨홀이나 가로등 등이 존재할 수 있는데, 이와 같은 철제 지형물의 존재 여부에 따라 해당 지역에서의 기본 자기장의 세기가 달라진다. 캘리브레이션 블록은 기본 자기장의 차이와 관계없이 전체 센싱 블록이 최적의 센싱감도를 유지할 수 있도록 소프트웨어에 의해 제어된다. T-Sensor 노드를 제어하는 임베디드 소프트웨어는 HAL, IEEE 802.15.4에 기반한 MAC프로토콜, 트리 기반의 라우팅 프로토콜, 캘리브레이션 블록, 차량 검지 알고리즘들을 포함하는 응용 소프트웨어 등으로 구성된다.

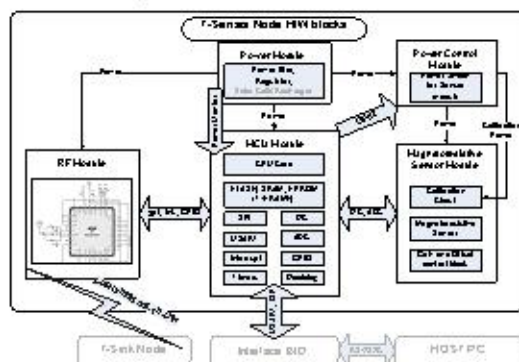


그림 2. T-Sensor 노드의 하드웨어 블록도
Fig 2. HW block diagram of T-Sensor node

T-Sink 노드는 T-Sensor 노드를 관리하며 T-Sensor 노드와 T-BaseStation 사이에서 통신거리를 확장해 주는 역할을 한다. T-Sink 노드는 통신거리 확장을 위해 external PA(Power

Amplifier)를 사용하고 Solar cell 및 충전용 배터리를 이용하여 낮 시간 동안 충전할 수 있도록 구성되어 있다. T-Actuator 노드는 T-Sink 노드와 같은 하드웨어 사양을 갖고 있으며 스피드 카메라를 제어하는 역할을 한다. T-Sink 노드 및 T-Actuator 노드의 소프트웨어 구성은 응용 소프트웨어를 제외하면 T-Sensor 노드와 유사하다.

T-BaseStation은 ANTS-H4[6]와 같은 고성능 임베디드 시스템으로 구성되며 T-Sensor 노드나 T-Sink 노드와 달리 고성능 MCU와 다양한 주변 장치를 포함하고 있다. T-BaseStation은 TSN의 최상위 노드로서 TSN을 관리하는 역할을 담당하며 관계센터에 설치되어 있는 관리 시스템과 TSN이 연결될 수 있도록 CDMA망이나 Wibro망과 같은 무선망이나 ADSL과 같은 유선망 접속 인터페이스를 제공한다.

3. 관리 시스템

TSN 관리 시스템은 TIS(Telematics Information Server)가 핵심 구성요소이며, 원격리에 떨어져 있는 관계센터에 설치되어 CDMA망, ADSL망, Wibro망 등과 같은 기존망을 통해서 T-BaseStation과 연동된다. TIS는 TSN으로부터 수신된 교통정보(차량속도 정보) 및 위반 정보(위반 속도 및 시각 정보) 등을 저장하는 기능을 하며, T-Sensor 노드의 배터리 용량이나 T-Sink 노드의 배터리 용량 및 Solar Cell이 생성하는 전압 레벨 등을 모니터링 하는 기능도 담당한다.

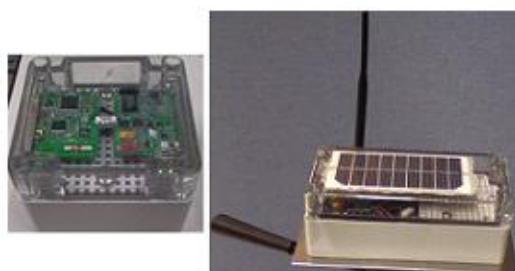


그림 3. T-Sensor 노드(좌)와 T-Sink 노드(우)
Fig 3. T-Sensor(left) and T-Sink node(right)

III. 구현 및 성능평가

본 논문에서 제안하는 무선센서네트워크 기반의 차량속도 측정 시스템의 성능을 평가하기 위해서 전체 시스템 중 핵심 부분인 TSN 서브시스템을 구현하였으며(그림 1, 3) 이를 경부고속도로 중 현재 사용되지 않는 일부 구간에 설치하여 그 성능을 측

정하였다(그림 4), 이 테스트베드에는 T-Sensor 노드가 매설될 수 있도록 3개의 사각형 홈을 뚫었으며 홈 사이의 거리는 각각 2미터와 8미터로 했다,



그림 4. 도로에 매설된 센서노드 및 스피드건(radar)으로 차량속도 측정

Fig 4. T-Sensor node embedded in the pavement and speed-gun to measure the speed of a car



그림 5. T-Sink 노드의 Single tone 송신파워
Fig 5. Single-tone transmission power of T-Sink node

1. T-Sink 노드의 송신파워 측정

통신거리를 연장하기 위해서 T-Sink 노드에 설치된 송신증폭기는 3.3V에서 10dBm의 출력을 내도록 설계되었는데, 그림 5와 같이 7dBm 정도로 측정되었다. T-Sink 노드의 실제 동작 전압이 3.3V보다 낮은 3.2V이므로 초기 설계 사양에서 근접한 결과라 할 수 있다.

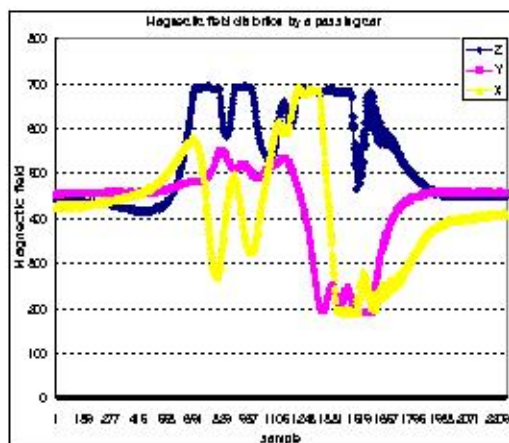


그림 6. 차량이 T-Sensor 노드 위로 지나갈 때의 자기장의 변화

Fig 6. Distortion of the magnetic field when a car is passing over a T-Sensor node

2. T-Sensor 노드의 차량 검지

먼저, 차량이 지나갈 때, T-Sensor 노드가 자기장의 변화를 제대로 측정할 수 있는지 확인하기 위해서 T-Sensor 노드를 도로에 매설한 후 T-Sensor 노드가 샘플링한 결과를 무선으로 T-Sink 노드로 전송하게 했으며, T-Sink 노드는 UART를 이용해 랩톱으로 그 결과를 저장하였다. 그림 6과 같이 T-Sensor 노드는 T-Sensor 노드 위로 지나가는 차량에 의한 자기장의 변화를 정상적으로 검지하였다. 차량 및 차종별로 차이가 있지만, 차량이 T-Sensor 노드를 통과할 때, 자기장의 변화는 기본적으로 그림 6과 같은 추이를 보임을 확인할 수 있었다. 이를 토대로, T-Sensor 노드에서 동작하는 State machine기반의 차량 검지 알고리즘을 구현하였으며, 다음 결과 같이 속도 정확성을 측정하였다.

3. 속도 정확성 측정

TSN 서브시스템이 측정하는 속도의 정확성을 비교하기 위해서 몇 가지 실험을 수행하였다. 먼저 그림 7은 차량 내부에 있는 차량 속도계와 TSN 서브시스템이 측정한 속도를 비교하여 보여주는데, TSN 서브시스템이 측정한 속도(수직축, 표의 2-3행)가 차량 속도계에 표시된 속도(수평축, 표의 1행)에 비해서 다소 낮게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 차량을 생산할 때 속도계가 표시하는 속도가 실제 속도보다 일정 이상 높게 표시되도록 하는 관

런 법 규정에 의한 것이다[7], 또한 예측할 수 있듯이 두 센서간 거리가 2미터일 때보다 8미터일 때보다 안정적이고 정확한 속도를 보인다,

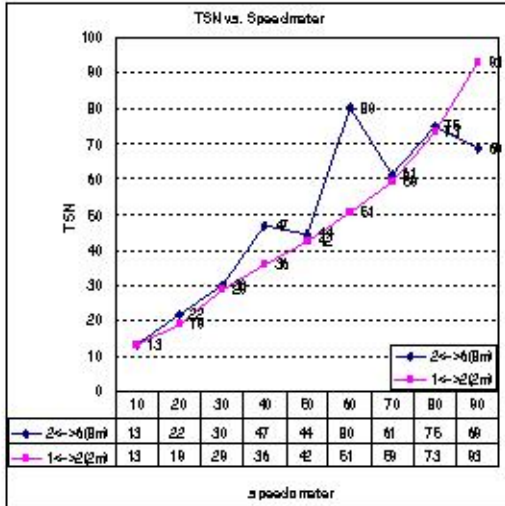


그림 7. 차량 속도계와 TSN이 측정한 속도 비교
Fig 7. comparison of speed measured by TSN with speed measured by speedometer

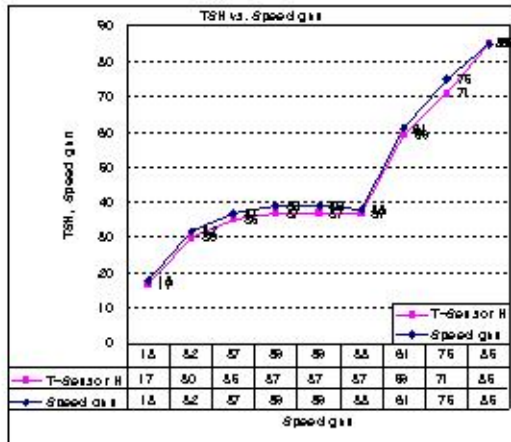


그림 8. 스피드건과 TSN이 측정한 속도 비교
Fig 8. comparison of speed measured by TSN with speed measured by speed gun

그림 8은 TSN이 측정한 속도(수직축, 표의 2행)와 스피드건(radar)이 측정한 속도(수직·수평축, 표의 1·3행)를 비교하는 실험에 대한 결과이며, TSN이 측정한 속도와 스피드건으로 측정된 속도가 매우 근접해 있음을 알 수 있다. 스피드 건과 비교했을때, TSN이 측정한 속도 오차는 0~6%사이임을

알 수 있다(표1),

표 1. 속도 정확도 측정

Table 1. Accuracy of speed measurement

speed gun(A) km/h	TSN(B) km/h	error(A-B) km/h	error(A-B)/A *100 %
18	17	1	6
82	80	2	6
87	85	2	5
89	87	2	5
89	87	2	5
88	87	1	8
81	59	2	9
75	71	4	5
85	85	0	0

4. 배터리 동작시간 예측

T-Sensor 노드는 도로에 매설되어 배터리로 동작하기 때문에 설계시 배터리 동작시간이 매우 중요한 고려사항이 된다, 2005년도 우리나라의 노선별 평균 일 교통량의 최대치(서울외곽선, 150,000대/일)[5]를 가정하여 T-Sensor 노드의 배터리 동작시간을 모의 시험해 본 결과 배터리 동작시간이 19.5개월(1.6년) 이상 되는 것을 알 수 있다(그림 9),

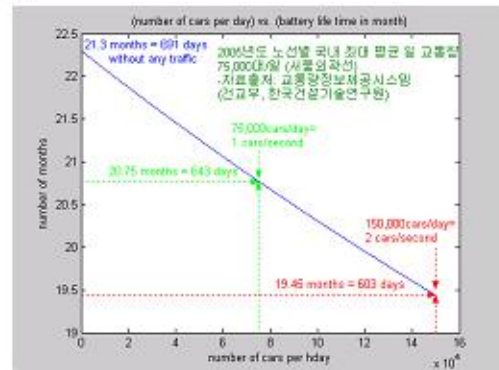


그림 9. T-Sensor 노드 배터리 동작 시간
Fig 9. Battery-life time estimation

IV. 결론

본 논문은 무선 센서네트워크 기반 차량검지시스템의 아키텍처를 제시하였으며 실제 구현 및 실험을 통하여 그 가능성을 살펴보았다. 특히 경부고속도로 부근에 위치한 테스트 베드에 실제 무선센

서네트워크를 설치하여 속도측정의 정확성을 측정하기 위해서 차량 내부에 있는 속도계, 외부의 스피드건과 비교해보았다. 뿐만 아니라 배터리 동작 시간을 모의 시험해 봄으로써 무선 센서네트워크 기반 차량검지 시스템의 가능성을 살펴보았다.

또한, 본 연구 결과를 바탕으로 저전력을 고려하여 배터리 동작 시간을 증가시키고 고속 주행에서도 차량의 속도를 정확하게 검지할 수 있는 새로운 T-Sensor노드, T-Sink 노드 임베디드 시스템을 연구하는 중에 있다.

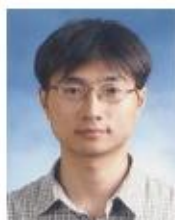
참고문헌

- [1] S. Yoo, et al., "A2S: Automated Agriculture System based on WSN", IEEE ISCE, Dallas, 2007.
- [2] T. Phan, B.W. Kwan, and L.J. Tung, "Magnetoresistors for Vehicle Detection and Identification", IEEE International Conference On Systems, Man, and Cybernetics, Computational Cybernetics And Simulation, Oct. 1997
- [3] Ara N. Knaian, "A Wireless Sensor Network for Smart Roadbeds and Intelligent Transportation Systems", MIT, 2000.
- [4] S. Chen, S. Coleri, B. Dondar, S. Ganesh, C. Tan, and P. Varaiya, "A sensor network for traffic monitoring", IPSN, 2004
- [5] "http://www.roadra.kr", 교통량 정보 제공시스템.
- [6] D. Kim, et al., "ANTS: An Evolvable Network of Tiny Sensors", Lecture Notes in Computer Science(LNCS Volume 3824), pp. 142~151, 2005
- [7] "자동차 안전 기준에 관한 규칙", 건설교통부, 2004

저 자 소 개

유성은

2002년 한양대학교 전자전기공학부 학사.



2005년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학과 석사. 현재, 한국정보통신대학교 공학부 박사과정 재학.
관심분야: 센서네트워크, Real-time Systems, 임베디드 소프트웨어

Email: seyoo@icu.ac.kr

김태홍

2005년 아주대학교 컴퓨터공학과 학사.



2007년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학과 석사. 현재, 한국정보통신대학교 공학부 박사과정 재학.
관심분야: ZigBee, 센서네트워크.

Email: damiano@icu.ac.kr

박태수

2005년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학과



학사. 2007년 한국정보통신대학교 컴퓨터공학과 석사. 현재, 티맥스 연구원.
관심분야: 모바일 센서네트워크.

Email: iamtaesoo@icu.ac.kr

김 대 영

1990년 부산대학교 전산통계학과 학사,
 1992년 부산대학교 전산
 통계학과 석사, 2001년
 University of Florida 컴
 퓨터공학 박사, 현재, 한국
 정보통신대학교 부교수,
 관심분야: 센서네트워크,
 Real-time Systems



Email: kimd@icu.ac.kr

신 창 섭

1998년 경일대 컴퓨터공학과 학사, 2001
 년 경북대 컴퓨터공학과
 석사, 현재, 한국전자통신
 연구원 선임연구원,
 관심분야: 통신프로토콜
 (MAC, Network)



Email: shincs@etri.re.kr

성 경 복

1998년 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학과
 학사, 2002년 한국과학기술
 술원 전산학과 석사, 현
 재, 한국전자통신연구원
 연구원,
 관심분야: 임베디드 시스
 템, 센서네트워크.



Email: kbsung@etri.re.kr